

# 填充料和通气对污泥堆肥过程的影响

李艳霞<sup>1,2</sup>, 王敏健<sup>1</sup>, 王菊思<sup>1</sup>, 陈同斌<sup>2</sup>

(1. 中国科学院生态环境研究中心水化学国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院地理研究所农业生态与环境技术试验站, 北京 100101)

**摘要:** 试验研究了不同配比的填充料和通气状况对污泥堆肥起始升温的影响。结果表明, 填充料含量高的配比升温速度明显比填充料含量低的配比快; 高填充料配比的堆体(填充料占堆料的 1/2~ 1/3) 在起始升温阶段可以不进行氧气的供给; 低填充料的配比和加入回流堆肥的配比(填充料占堆料的 1/4~ 1/9), 由于堆体的孔隙少, 则必须进行通气量的调节。

**关键词:** 污泥; 填充料; 通气量; 温度; 堆肥过程

## Effect of bulking agent and aeration on sewage sludge composting process

LI Yan-Xia<sup>1,2</sup>, Wang Min-Jian<sup>1</sup>, WANG Ju-Si<sup>1</sup>, CHEN Tong-Bin<sup>2</sup> (<sup>1</sup> SKLEAC, The Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing 100085, China; <sup>2</sup> Station for Agro-Ecology and Environmental Technology, Institution of Geography Science and Natural Resource Research, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract** Ratio of the raw material and the bulking agent is an important parameter for sewage sludge composting. Different contents of bulking agent were studied in this experiment. Bulking agent typically affected on the original temperature raising. The treatments with high percent of bulking agent would reach to high temperature more quickly than the low percent ones. The treatments with different content of bulking agent requests differently for oxygen. The high percent of bulking agent (1/2~ 1/3) did not need less oxygen during the original phase, but the low percent was on the contrary.

**Key words:** sewage sludge, bulking agent, temperature, composting process

文章编号: 1000-0933(2000)06-1015-06 中图分类号: S181 文献标识码: A

污泥是污水处理过程产生的废弃物。污泥中含有大量的病原菌、重金属、杂草种子等有害物质, 如不进行有效处置, 必将产生二次污染; 但污泥中还含有大量有机物质和植物必需的养分, 如不进行合理利用, 又是资源的浪费<sup>[1~3]</sup>。80 年代中期以来, 世界各国更加重视以土地利用为主的污泥无害化、资源化处置技术, 其中常用的方法是高温堆肥化处理, 即将污泥在有氧状态下, 经高温堆腐, 杀灭其中的病原菌, 然后进行土地利用<sup>[3~6]</sup>。

由于污泥本身颗粒细小、透气性差, 且在脱水过程中加入了絮凝剂, 使得其更易板结, 所以在堆肥处理过程中一般需要加入填充料以改变其通气性<sup>[7,8]</sup>。堆肥的填充料可以采用比重较小的有机废弃物, 如: 木屑、秸秆、锯末、树叶等; 也可以采用无机废弃物, 如: 橡胶轮胎等<sup>[9]</sup>。为了加快堆肥的腐熟过程和优化堆肥过程的技术参数, 本试验研究了农业有机废弃物——玉米芯回流堆肥作为填充料对堆肥过程的影响。

### 1 试验材料和方法

#### 1.1 试验材料

污泥原料取自北京市北小河污水处理厂的脱水污泥; 堆肥的填充料为截短至 3~ 5cm 长的玉米芯或回

国家“九五”科技攻关项目 96-909-01-05。

收稿日期: 1998-12-18; 修订日期: 1999-10-20

作者简介: 李艳霞(1970~), 女, 内蒙古包头市人, 博士。主要从事固体废物处置及利用, 农业环境保护研究。

流堆肥(已经过堆腐的污泥堆肥)。

1.2 试验方法

1.2.1 堆肥的物料配比(见表 1)

表 1 不同处理的填充料种类及物料配比

Table 1 The types of the bulking agent and the prescription of materials

处理代号 Treatment	物料配比(体积比) Material directions(V/V)	堆腐时间 Composting time(d)
第一次堆肥 The first compost	A I 污泥 玉米芯 = 1 1 sludge corncob = 1 1	20
	A II 污泥 玉米芯 = 2 1 sludge corncob = 2 1	20
	A III 污泥 玉米芯 = 3 1 sludge corncob = 3 1	30
第二次堆肥 The second compost	B I 污泥 玉米芯 = 5 1 sludge corncob = 5 1	30
	B II 污泥 玉米芯 = 8 1 sludge corncob = 8 1	30
第三次堆肥 The third compost	C I 污泥 玉米芯 回流堆肥 = 2 1 1 sludge corncob regurgitant compost = 2 1 1	20
	C II 污泥 回流堆肥 = 1 1 sludge regurgitant compost = 1 1	20

\* : 由于堆肥过程中天气降温对堆体温度的影响, 根据试验需要将 A III、B I 和 B II 处理的堆腐时间延长到 30d。

1.2.2 堆肥系统 选用通气静态垛式堆肥系统, 其工艺流程如图 1。

1.2.3 堆肥过程的温度监测 堆肥过程的温度监测示意图见图 2, 在堆体的不同层面上插放温度计, 每层 3 支, 计算平均值。堆肥过程中对各处理的温度进行动态监测, 温度监测时间为每天的 8: 00、11: 00、14: 00、18: 00、22: 00。

2 结果与讨论

2.1 不同处理对堆肥起始水分含量的要求

各处理的水分含量在堆腐前进行了调节, 含量范围从 58.7% ~ 66.3%。55 是绝大部分病原菌的死亡温度, 高温堆肥一般将该温度作为达标温度的下限<sup>[10]</sup>。不同配比的处理在不同水分含量条件下到达 55 所需的时间, 见表 2。

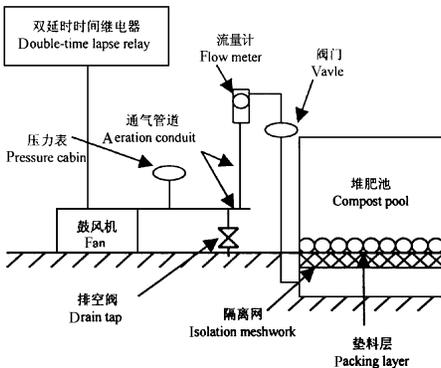


图 1 通气系统工艺流程图

Fig. 1 The flow chart of the aeration system

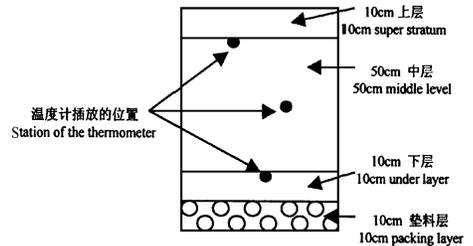


图 2 堆体温度监测示意图

Fig. 2 The sketch map of the compost temperature inspect

表 2 不同处理的起始含水率与堆肥升温关系

Table 2 Connection between the original water content and the compost temperature raising

	A I	A II	A III	B I	B II	C I	C II
含水率(%)	60.5	58.9	61	58.7	59.7	66.3	63.3
Water content							
到达 55 所需时间(h)	15.8	16	92	50	93	140.5	未达到
The time to 55							

从表中数据可以看出, 含水率的不同对 55℃ 达标温度所需时间影响非常大。高含水率的处理 C I、C II、A III(高于 60%, A I 处理后讨论)比低含水率的处理 A II、B I 升温慢得多, 甚至是无法达到 55℃ (C II)。说明堆体内过多的水分会导致堆体的孔隙减少, 阻碍堆体内空气的输送。C I 处理的物料配比为污泥: 玉米芯 = 2: 1, A II 和 A III 处理的物料配比分别为污泥: 玉米芯 = 2: 1 和 3: 1。理论上讲, C I 处理的升温应介于 A II 和 A III 处理之间。但是 3 个处理的升温时间却是 C I > A III > A II, 原因也就是因为 3 个处理水分含量为 C I > A III > A II。可见水分含量对温度提升的影响极大, 水分含量过高, 将导致堆体的升温时间加长。对于 C II 处理, 由于其水分含量较大, 同时堆料中没有玉米芯, 致使该处理最终没有达到 55℃ 的达标温度。

从 7 个处理升温结果看, 堆肥原料含水量的多少, 直接影响好氧堆肥反应速度的快慢, 影响堆肥的质量, 甚至关系到堆肥工艺的成败, 因此, 堆肥中水分的控制十分重要。根据本试验的结果来看, 堆体水分含量似不宜超过 60%。

## 2.2 不同配比的堆肥升温过程

试验表明, 物料的配比也是影响堆肥过程的重要因素。从上述表 2 中的结果, 虽然 A I 处理水分含量(超过了 60%)高于 A II 和 B I 处理, 但是它的升温却最快。究其原因, 是因为它的配比不同, A I 处理中玉米芯含量最大, 达到堆料的 1/2, 因此, 堆体内会有绝对量大于 A II、B I 处理的孔隙, 使微生物有足够的氧气来利用。B II 恰恰相反, 其水分含量低于 A I 处理, 但是其升温时间需要 93h, 远远大于 A I 处理。因为在 B II 处理中, 玉米芯只占堆料的 1/9, 堆体内孔隙的绝对量小于 A I 处理, 因此需要的通气量大而且升温的时间长。

C I 及 C II 处理的填充料部分或全部以回流堆肥来代替玉米芯, 但是从本实验的结果看, 未达到完全舍弃其它填充料使用的目的。C II 处理堆体一直没有升温, 一个原因可能是堆体水分含量过高(63.3%), 使堆体内的自由空域绝对量过少; 另一原因是回流堆肥作为填充料, 它不象玉米芯粒径较大, 在堆体内起不到支撑作用, 当污泥与其混匀时, 回流堆肥与新鲜污泥基本上达到了“融合”的状态, 回流堆肥颗粒外基本被新鲜污泥包围。C I 处理中虽然有 1/2 的新鲜污泥, 但由于其中还有 1/4 的玉米芯, 所以即使水分含量达到 66.3%, 在经过通气等调节手段后, 最终也达到了 55℃ 要求, 说明玉米芯类的填充料对升温的作用是十分明显的。同时玉米芯这样的结构本身可能更具一定的优势, 它的内部疏松多孔可以贮存空气, 比单纯的密实的“颗粒状”膨胀剂(如木屑等)能更好地起到空气的贮存及缓冲作用。因此, 对于实际生产中的堆肥, 选用一些疏松多孔的能够重复使用的材料, 既可以起到膨胀剂的作用, 又可以降低堆肥成本。

从本实验结果看, 用 1/2~1/6 比例的填充料堆体都可顺利升温, 并较快达到高温。说明在玉米芯减少到堆料的 1/6 时, 只要水分含量及通气等玉米芯条件适宜, 也可以成功地堆腐, 这个配比大大地降低了填充料的使用量, 对于实际生产工艺有极大的指导作用。

## 2.3 不同配比堆肥起始升温的通气量需求

### 2.3.1 高玉米芯配比的处理

A I、A II 处理是玉米芯含量比较高的处理。这两个处理的前期升温过程与通气量的关系见图 3。

从图中看出, 虽然在堆肥开始时并没有进行通气, 但堆体所含氧气足以满足微生物活动的需求, 所以在 16h 左右即到达杀灭病原菌所需的高温要求(55℃)。当对这两个处理进行通气, 如果通气量分别达到

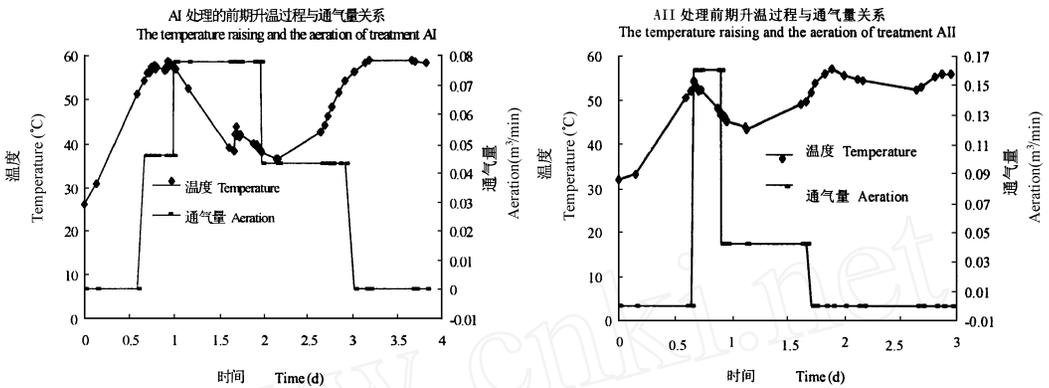


图3 高玉米芯配比的处理温度变化过程

Fig 3 The temperature changing process with high percent of com cob

0.078m<sup>3</sup>/m in 和 0.16m<sup>3</sup>/m in 时,则堆体的温度急剧下降。对A I A II 配比,当通气量大时,因堆体热量的过分散失等原因,堆肥无法继续维持高温。因此,玉米芯比例较高的堆肥处理,前期不宜通气,依靠堆体自身贮存的氧气就可以基本保证微生物活动的需氧量。

2.3.2 低玉米芯配比的处理 A III B I B II 3个处理的玉米芯含量较低,它们开始升温的速度明显比A I A II 缓慢。为使3个处理温度稳定而快速的升高,分别给3个处理进行了通气供氧,最大通气量分别为0.122, 0.15和0.222m<sup>3</sup>/m in。从图4可以看出, B I B II 处理的温度上升都较为平稳和迅速, A III 处理温度上升有所波动这可能一定程度上与堆料中水分含量高有关。

从A III B I B II 的温度变化动态可以看出,其可能的原因是:低填充料配比的处理中,堆体内的孔隙较少,能够提供给微生物活动的氧气也少,因此需要通气以提供氧气;堆料中有机物的绝对量较大,好氧分解微生物的绝对量也相应多,需要的氧气量也会更多。所以,对于低填充料配比的处理,在起始升温阶段需要进行通气供氧。

2.3.3 以回流堆肥为填充料的处理 C I 和 C II 处理中分别加入了1/4和1/2比例的回流堆肥,其起始升温变化见图5。

C I 处理污泥与填充料比例为1:1,与A III 处理相似,应属于高填充料的配比处理。但是从C I 的温度变化看,其起始升温很慢,在没有通气的20h内,温度仅仅上升4℃,说明堆体内可能氧气不足;当通气量从0.013m<sup>3</sup>/m in 达到0.16m<sup>3</sup>/m in 时,堆肥温度上升到59℃,且保持稳定,说明加入部分回流堆肥代替玉米芯作填充料的处理是可以达到高温的。从实际的情况来看,C I 处理的通气量及通气时间大于A III 处理,这可能是水分含量过高的结果。

C II 处理从通气是0m<sup>3</sup>/m in 调节到0.222m<sup>3</sup>/m in,堆温才达到39℃,而通气量达到0.26m<sup>3</sup>/m in 时,堆体温度反而下降。这说明C II 处理中由于没有添加玉米芯,堆体结构不理想,使堆体内通气性差。当进行通气供氧时,一旦通气量加大,堆体的散热太快,会造成堆体温度下降。

通过上述结果看,加入回流堆肥的两个处理,起始的温升都不太理想,C I 处理经历了将近6d才达到所需的高温,而C II 处理一直未达到高温。因此,对加入回流堆肥的配比还需要进一步实验。如果堆料中水分含量等合适,C I 处理有可能获得较满意的效果。

### 3 小结

(1) 堆肥原料水分的多少,直接影响好氧堆肥的速度和质量,甚至关系到好氧堆肥工艺的成败,堆肥中水分的控制十分重要,堆肥前的水分含量不宜超过60%。

(2) 污泥与玉米芯的比例从1:1到5:1范围,堆肥都可顺利升温。为了降低堆肥中填充料的添加量以降低堆肥成本,在实际生产中可采用5:1的配比,但要注意调节堆肥前的含水量和在堆肥过程中适当的

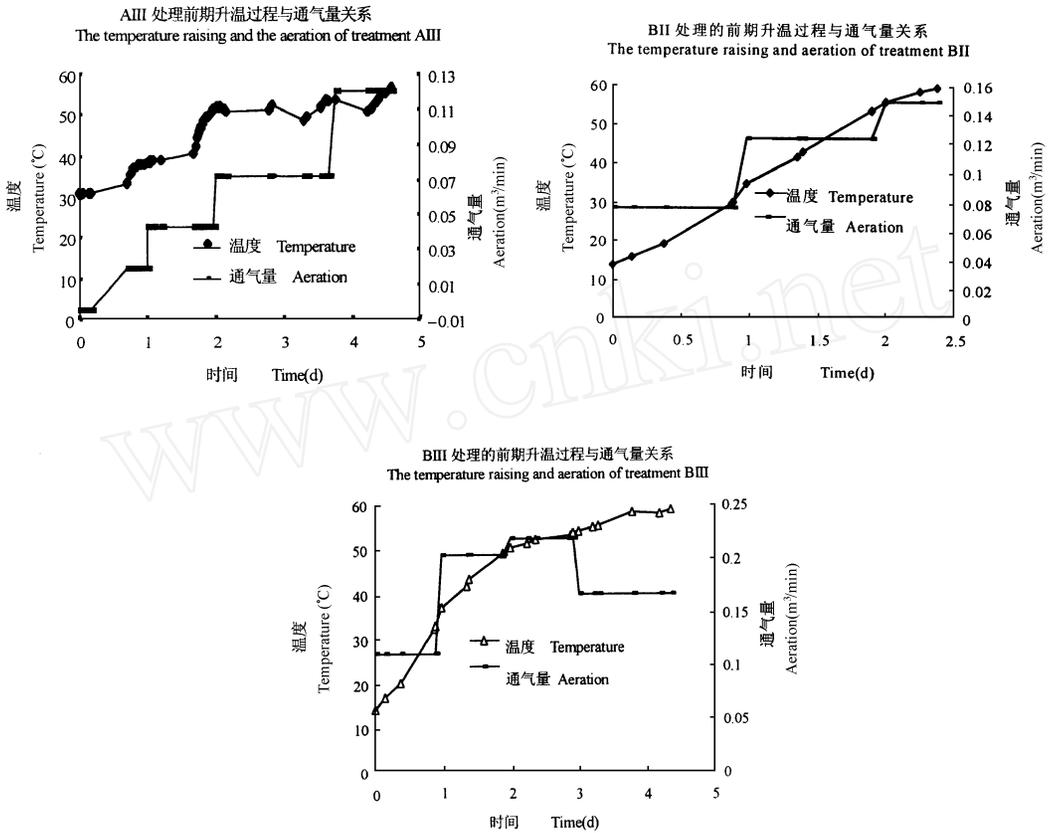


图 4 低玉米芯配比的处理温度变化过程

Fig 4 The temperanire changing process w ith low percent of com cob

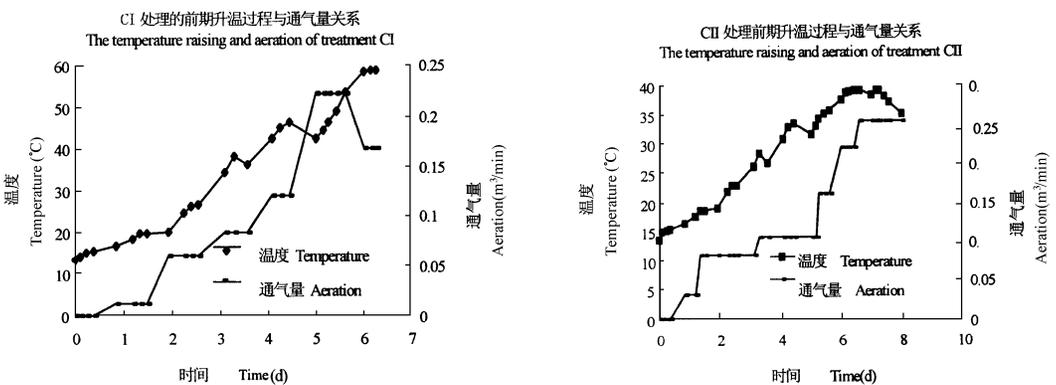


图 5 以回流堆肥为填充料的配比处理温度变化过程

Fig 5 The temperattire changing process w ith regurgitant compost

通气量。

(3) 不同填充料的比例对堆肥过程所要求的通气量不同。一般而言, 填充料的比例较大时, 前期不需要通气, 而比例较小时, 前期必需通气。



## 参考文献

- [ 1 ] Special Report. Sludge composting trends and opportunities *Water & Waste Treatment*, 1995, **38**(11): 44~ 47.
- [ 2 ] Lottemoser B G. The heavy metals in sewage sludge *Ambio*, 1995, **24**(6): 354~ 357.
- [ 3 ] Furrhacker M and Haberl R. Composting of sewage sludge in a rotating vessel *Wat Sci Tech*, 1995, **32**(11): 121~ 125.
- [ 4 ] Goldstein N and Struteville R. Biosolids composting makes healthy progress *BioCycle*, 1993, **34**: 48~ 57.
- [ 5 ] Goldstein N, Riggle D and Steuteville R. '1994 biosolids survey.' *BioCycle*, 1994, **35**(12): 48~ 57.
- [ 6 ] Augenstein D, Wise D L, Dat N X, *et al*. Composting of municipal solid waste and sewage sludge: Potential for fuel gas production of a developing country. *Resources, Conservation and Recycling*, 1996, **16**: 254~ 279.
- [ 7 ] Crombie G. Evolution of a compost plant *BioCycle*, 1982, **23**(6): 17~ 25.
- [ 8 ] USEPA. Composting Facility Design. In: *Composting of Municipal Wastewater Sludges* 1985, 3.
- [ 9 ] Smith W H, Margolis Z P and Janonis B A. High altitude sludge composting *BioCycle*, 1992, **33**: 68~ 71.
- [ 10 ] Polan P and Jones P. Problematique des metaux lourds et des organismes pathogenes dans les boues de stations de purification municipales *Sci er Tech. de L'eau*, 1992, **25**(1): 11~ 15.